

Le till pollinifère de la péninsule du Nunavik, Québec septentrional

Polliniferous Till of the Nunavik Peninsula, Northern Québec

Das pollenreiche Till der Halbinsel Nunavik, nördliches Québec

Bianca Fréchette, Michel A. Bouchard et Pierre J. H. Richard

Volume 50, numéro 3, 1996

Spécial Québec

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/033103ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/033103ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Fréchette, B., Bouchard, M. A. & Richard, P. J. H. (1996). Le till pollinifère de la péninsule du Nunavik, Québec septentrional. *Géographie physique et Quaternaire*, 50(3), 331–340. <https://doi.org/10.7202/033103ar>

Résumé de l'article

Des concentrations polliniques étonnamment élevées ont été notées dans le till en périphérie du cratère du Nouveau-Québec (Richard et al., 1991; Fréchette, 1994). Nous avons posé l'hypothèse selon laquelle le till situé près de la ligne de partage glaciaire est plus riche en pollen que les tills qui en sont éloignés. L'hypothèse est ici vérifiée. En effet, le till du centre du Nunavik, près de la ligne de partage glaciaire, recèle des concentrations polliniques de l'ordre de ~31 000 grains/g, alors que ceux plus à l'est et plus à l'ouest ont des valeurs moyennes respectives de ~8500 grains/g et de ~6800 grains/g. Les sédiments du centre du Nunavik ont pu être préservés d'une érosion glaciaire intense, de sorte que le pollen accumulé au cours des interstadias et interglaciaires antérieurs a pu être conservé puis recyclé. À première vue, les spectres polliniques du till de la péninsule du Nunavik reproduisent à peu près la biogéographie contemporaine. Les assemblages polliniques du till plus au nord semblent être le reflet d'une toundra herbacée, alors que ceux du till plus au sud s'approcheraient plutôt d'une représentation de toundra arbustive. L'analyse des composantes principales a permis de comparer les assemblages polliniques du till à ceux des sédiments de surface des lacs environnants. Les résultats soulignent l'absence d'analogues contemporains de même qu'ils laissent voir des différences dans la répartition ou l'étendue des zones bioclimatiques pré-wisconsinniennes.

LE TILL POLLINIFÈRE DE LA PÉNINSULE DU NUNAVIK, QUÉBEC SEPTENTRIONAL

Bianca FRÉCHETTE*, Michel A. BOUCHARD et Pierre J.H. RICHARD ; premier et deuxième auteurs : Département de géologie ; troisième auteur : Département de géographie, Université de Montréal, C.P. 6128, succursale Centre-Ville, Montréal, Québec H3C 3J7.

RÉSUMÉ Des concentrations polliniques étonnamment élevées ont été notées dans le till en périphérie du cratère du Nouveau-Québec (Richard *et al.*, 1991 ; Fréchette, 1994). Nous avons posé l'hypothèse selon laquelle le till situé près de la ligne de partage glaciaire est plus riche en pollen que les tills qui en sont éloignés. L'hypothèse est ici vérifiée. En effet, le till du centre du Nunavik, près de la ligne de partage glaciaire, recèle des concentrations polliniques de l'ordre de ~31 000 grains/g, alors que ceux plus à l'est et plus à l'ouest ont des valeurs moyennes respectives de ~8500 grains/g et de ~6800 grains/g. Les sédiments du centre du Nunavik ont pu être préservés d'une érosion glaciaire intense, de sorte que le pollen accumulé au cours des interstadias et interglaciaires antérieurs a pu être conservé puis recyclé. À première vue, les spectres polliniques du till de la péninsule du Nunavik reproduisent à peu près la biogéographie contemporaine. Les assemblages polliniques du till plus au nord semblent être le reflet d'une toundra herbacée, alors que ceux du till plus au sud s'approcheraient plutôt d'une représentation de toundra arbustive. L'analyse des composantes principales a permis de comparer les assemblages polliniques du till à ceux des sédiments de surface des lacs environnants. Les résultats soulignent l'absence d'analogues contemporains de même qu'ils laissent voir des différences dans la répartition ou l'étendue des zones bioclimatiques pré-wisconsinniennes.

ABSTRACT *Polliniferous till of the Nunavik peninsula, northern Québec.* Exceptionally high pollen concentrations have been noted in till in the vicinity of the Nouveau-Québec crater (Richard *et al.*, 1991 ; Fréchette, 1994). We have proposed as an explanation the hypothesis that till near the ice divide is polliniferous. This present hypothesis is tested in parts of the Nunavik crossed by the Payne ice divide. Close to the ice divide, till shows pollen concentrations in the order of ~31 000 grains/g whereas tills at a distance eastward and westward have mean values of 8500 grains/g and 6800 grains/g respectively. Deposits near the ice divide zone of Nunavik may have escaped significant glacial erosion and thus pollen that had accumulated during previous interstadials and interglacials may have been preserved and recycled in till. Pollen spectra of till throughout Nunavik reflects only approximately the modern biogeography, ranging from herb-tundra in the north to shrub-tundra in the south. Main components analysis has allowed comparison between till samples and neighbouring lacustrine surface sediments ; based on that comparison the pollen assemblages of the till samples have no modern analogs which suggests some shifting in the distribution of the pre-Wisconsinan bioclimatic zones.

ZUSAMMENFASSUNG *Das pollenreiche Till der Halbinsel Nunavik, nördliches Québec.* Erstaunlich hohe Pollen-Konzentrationen wurden im Till in der Nähe des Kraters von Nouveau-Québec festgestellt (Richard *et al.*, 1991 ; Fréchette 1994). Wir haben die Hypothese aufgestellt, daß das nahe bei der glazialen Eisscheide gelegene Till reicher an Pollen ist, als die von ihr entfernten Tills. Die Hypothese wird in diesem Beitrag überprüft. In der Tat enthält das Till aus dem Zentrum von Nunavik nahe bei der glazialen Eisscheide Pollen-Konzentrationen der Größenordnung ~31 000 Körner/g, wogegen die mehr Östlich und westlich gelegenen mittlere Werte von ~8500 Körner/g bzw. ~6800 Körner/g haben. Die Sedimente aus dem Zentrum von Nunavik konnten vor einer intensiven glazialen Erosion bewahrt werden, so daß der während der vorhergehenden Interstadias und Interglaziale angesammelte Pollen erhalten und wiederverwendet werden konnte. Auf den ersten Blick entsprechen die Pollen-Spektren vom Till der Halbinsel Nunavik ungefähr der heutigen Biogeographie. Die Pollen-Einheiten vom mehr nördlichen Till scheinen eine Pflanzen-Tundra zu spiegeln, wogegen diejenigen vom südlicheren Till eher einer Busch-Tundra gleichen. Die Analyse der Hauptbestandteile erlaubte die Pollen-einheiten des Tills mit denen der Oberflächensedimente der umliegenden Seen zu vergleichen. Die Ergebnisse heben das Fehlen gegenwärtiger Entsprechungen hervor und lassen auch Unterschiede in der Verteilung oder Ausbreitung der bioklimatischen Zonen im Vor-Wisconsinium erkennen.

INTRODUCTION

Aux alentours du cratère du Nouveau-Québec (61°17' N, 73°13' O) et dans au moins une partie du Nunavik, le till est, exceptionnellement, très pollinifère (tabl. I) (Richard, Bouchard et Gangloff, 1991 ; Fréchette, 1994). Au cratère, le till pollinifère est à la source des concentrations polliniques remarquablement élevées observées dans les sédiments lacustres inorganiques à la base de la séquence sédimentaire postglaciaire du lac du cratère et d'un petit lac au sud-ouest de celui-ci. Ces sédiments montrent en effet des concentrations polliniques plus élevées que les sédiments organiques supérieurs mis en place depuis le développement de la toundra holocène aux alentours des bassins (fig. 1) (Richard *et al.*, 1989, 1991).

Bien que les retombées polliniques s'enregistrent dans la glace des glaciers (McAndrews, 1984 ; Bourgeois, 1986), elles sont de concentrations très faibles (Holocène supérieur et périodes interglaciaires : ca 7 grains/litre, Holocène inférieur et périodes glaciaires wisconsinienne : ca 1 à 2 grains/litre). Par ailleurs, le pollen incorporé à la glace, fortement dilué, sera évacué par les eaux de fusion au moment de la fonte et du retrait de celle-ci. Néanmoins, il se peut qu'une partie de la pluie pollinique acquise par la glace soit retenue dans les sédiments puis qu'elle s'incorpore au till d'origine supraglaciaire, comme le till d'ablation ou de fusion, tel que supposé par Dreimanis *et al.* (1989). Par contre, pour le till d'origine sousglaciaire, le sédiment ne peut avoir enregistré une pluie pollinique au moment de sa mise en place. Le pollen

présent à l'intérieur d'un till sousglaciaire est nécessairement d'origine pré- ou post-sédimentaire. Il est d'origine pré-sédimentaire s'il est hérité d'un sédiment préglaciaire pollinifère. Il est d'origine post-sédimentaire s'il s'est accumulé à partir de la surface du till depuis le début du postglaciaire.

Nous présentons ici les résultats d'une étude de la répartition régionale du contenu pollinique du till du Nunavik (Ungava), afin de vérifier les possibilités suivantes : (1) l'existence de till pollinifère est-il un phénomène répandu ou isolé dans la péninsule du Nunavik ? (2) existe-t-il un lien entre la répartition régionale et la géométrie du dernier appareil glaciaire, notamment la position de la ligne de partage des glaces ? et enfin (3) existe-t-il un lien entre les assemblages polliniques enregistrés dans le till et la végétation actuelle ?

Nous avons étendu ici l'examen du contenu pollinique dans le till d'origine sous-glaciaire à l'ensemble du Nunavik, incluant la région de la ligne de partage de Payne (Bouchard et Marcotte, 1986). Puisque les terrains situés sous un axe de partage des glaces demeuré relativement stable ne subissent généralement qu'une très faible érosion et que les dépôts antérieurs y sont souvent conservés (Lagerbäck, 1988 ; Bouchard, 1989a), le till présent au centre du Nunavik tout près de l'axe de partage des glaces devrait, en principe, contenir davantage de pollen hérité et, conséquemment, montrer de fortes concentrations polliniques.

LA PÉNINSULE DU NUNAVIK

La péninsule du Nunavik est traversée, à mi-chemin entre les baies d'Ungava et d'Hudson, par la ligne de partage glaciaire de Payne (Bouchard et Marcotte, 1986) (fig. 2). Cet axe majeur est à l'origine d'une dispersion glaciaire centrifuge, du centre vers les régions périphériques soit vers le détroit d'Hudson au nord, la baie d'Ungava, à l'est, et la baie d'Hudson, à l'ouest. Des distances de transport de 6 à 10 km et de 10 à 15 km, respectivement à 80 km à l'est et à l'ouest de l'axe principal (centre de Payne), ont été mesurées (Bouchard et Marcotte, 1986).

La chronologie de la déglaciation du Nunavik est relativement bien connue (Lauriol, 1982 ; Gray et Lauriol, 1985 ; Lauriol et Gray, 1987 ; Dyke et Prest, 1987 ; Bouchard, 1989a). La déglaciation du territoire, amorcée vers 9000 ans BP dans la partie septentrionale, en bordure du détroit d'Hudson, s'est terminée il y a environ 5000 ans BP (Richard *et al.*, 1982).

La péninsule du Nunavik subit un gel permanent du substrat en profondeur (Brown, 1978). Les sites étudiés se situent au nord de la limite actuelle des arbres (Payette, 1983) et appartiennent, en majeure partie, à la zone biogéographique du Bas Arctique (Young, 1971).

MÉTHODES

Les échantillons de till analysés proviennent de la périphérie du cratère du Nouveau-Québec et de différentes régions de la péninsule du Nunavik (fig. 2). Ils ont été prélevés à 25 cm de profondeur au sein d'ostioles sur till ou de till non perturbé par la cryoturbation. Il s'agit de matériel « frais »,

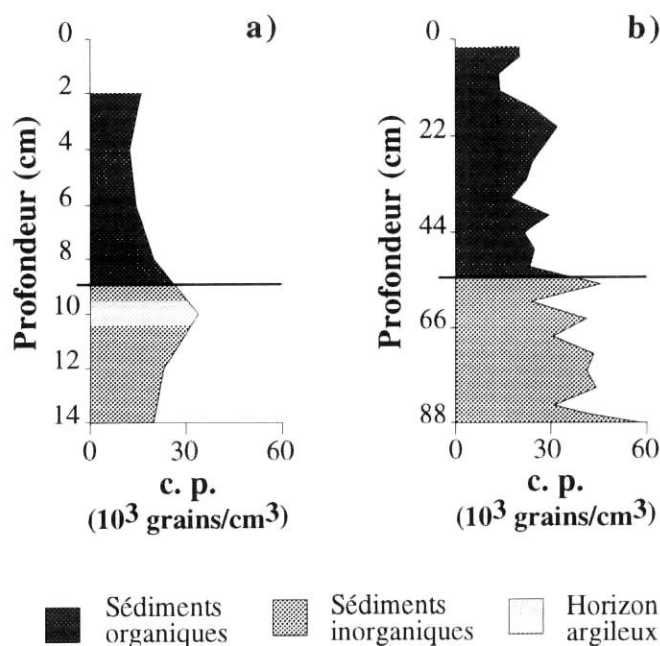


FIGURE 1. Comportement des courbes de concentration pollinique de sédiments lacustres postglaciaires de la région du cratère du Nouveau-Québec. a) Lac du cratère du Nouveau-Québec. b) Lac du Sud-Ouest. D'après Richard *et al.* (1989, 1991).

Behaviour of pollen concentration curves of postglacial lacustrine sediments from the Nouveau-Québec crater area. a) Lac du Cratère du Nouveau-Québec. b) Lac du Sud-Ouest. From Richard et al. (1989, 1991).

TABLEAU I
Études sporopolliniques de till

Auteurs	Lieu	Caractéristique pollinique du sédiment		Origine	
		Nature du dépôt	Teneur (richesse)	pré-séd.	post-séd.
Iversen (1936)	Danemark	till et argiles varvées	?	X	
Hyypä (1936)	Finlande	till basal	2 ou 3 grains		X
Sayles et Knox (1943)	Massachusetts (E.-U.)	tills et couches intertills	100 à 200 grains/g de sédiment	X	
Heinonen (1957)	Finlande	tills non perturbés	0 à 1810 grains/g de sédiment	X	
Davis (1961)	Massachusetts (E.-U.)	till (4 échantillons)	0 à 15 grains (600g de sédiment)		X
Cushing (1964)	Minnesota (E.-U.)	till silteux	183 grains dont 65 % pré-Quat.	X	
Andersen (1965)	Danemark	matériel morainique	112 à 502 grains (Quat. et pré-Q.)	X	
Miller et Benninghoff (1969)	Michigan (E.-U.)	till sur couche de bryophytes	362 grains (20g de sédiment)	?	
Florin (1975)	Suède	till (horizon pédologique C)	542 grains (12 lames)	X	
Rainio et Lahermo (1976)	Finlande	till riche en matière organique	7 échant. riches et 7 pauvres	X	
Vorren <i>et al.</i> (1981)	Norvège	till basal fossilifère	71 grains (4 échantillons)	X	
Jackson et Miller (1983)	Illinois (E.-U.)	till	308 grains (5 cm ² traité)	X	
Lagerbäck et Robertsson (1988)	Suède	sédiments de <i>kettle holes</i>	110 à 322 grains	X	
Dreimanis <i>et al.</i> (1989)	Ontario (Can.)	tills d'âge Wisconsin et Illinois	12 à 200 grains par lame	X	X
Richard et Larouche (1989)	Témiscam. (Can.)	till (horizon pédologique C)	36 à 2500 grains/cm ²	?	?
Richard <i>et al.</i> (1991)	CNQ (Can.)	till (ostioles)	27 803 ± 35 950 grains/g	X	X

sans pédogenèse. Les échantillons de till que nous avons analysés proviennent tous de sites où, à partir de critères morphologiques ou sédimentologiques, le faciès est celui d'un till de fond ou d'un till de fusion basale (voir Bouchard, 1989a ; Bouchard et Salonen, 1990). Les échantillons ont fait antérieurement l'objet d'études pour déterminer les directions de la dispersion glaciaire (Bouchard et Marcotte, 1986 ; Marsan, 1988).

L'ANALYSE POLLINIQUE

Le traitement pour l'analyse pollinique (Faegri et Iversen, 1975) est fait sur 1 cm³ de sédiment sec tamisé (fraction minérale <63 µm). Il consiste en une défloculation avec KOH, un tamisage, une dissolution avec les acides HF et HCl suivie d'une acétolyse. Les lames sont montées dans la glycérine et observées au microscope photonique à un grossissement de 400X. La concentration pollinique (grains/g) est déterminée par un traçage de l'échantillon avec une suspension de pollen d'*Eucalyptus* de concentration connue avant les traitements physico-chimiques décrits précédemment. La concentration pollinique n'inclut que le pollen des plantes vasculaires terrestres. Les spores des mousses et des fougères de même que les plantes aquatiques en sont exclues. Leurs pourcentages sont toutefois calculés en fonction de la somme de base et leurs spectres sont représentés sur le diagramme. Les grains sont généralement bien préservés, malgré une certaine proportion de grains dégradés (*sensu* Cushing, 1964). Le degré de destruction des grains n'est pas en soi un critère décisif permettant de conclure sur l'âge ou la provenance d'un grain (Cushing, 1964 ; Jackson et Miller, 1983). Nos valeurs de concentration pollinique sont surestimées comparativement aux valeurs qui découleraient du traitement d'un till brut ou d'un échantillon à fraction minérale plus grossière (par ex. une fraction minérale <150 µm ou <500 µm). Il n'y a toutefois pas de sous-estimation des pourcentages des plus gros grains de pollen (par ex. *Picea* ~80 µm) (Fréchette, 1994).

LES PERTES AU FEU

Les pertes au feu (Dean, 1974) ont été mesurées sur 1 cm³ de sédiment sec tamisé (fraction minérale <63 µm) et sont exprimées en pourcentage de poids sec après combustion au four à 600 °C. Bien que surestimées (Ball, 1964 ; Davies, 1974 ; Saarnisto et Uusinkka, 1975 ; Jacobson et Birks, 1980), elles peuvent être utilisées pour évaluer le contenu en particules organiques du sédiment. La teneur en eau provenant des phyllosilicates du till est probablement négligeable, la fraction argileuse étant surtout constituée de micas, de chlorites, de feldspaths et de quartz (Georges Rumley, communication personnelle, mai 1995).

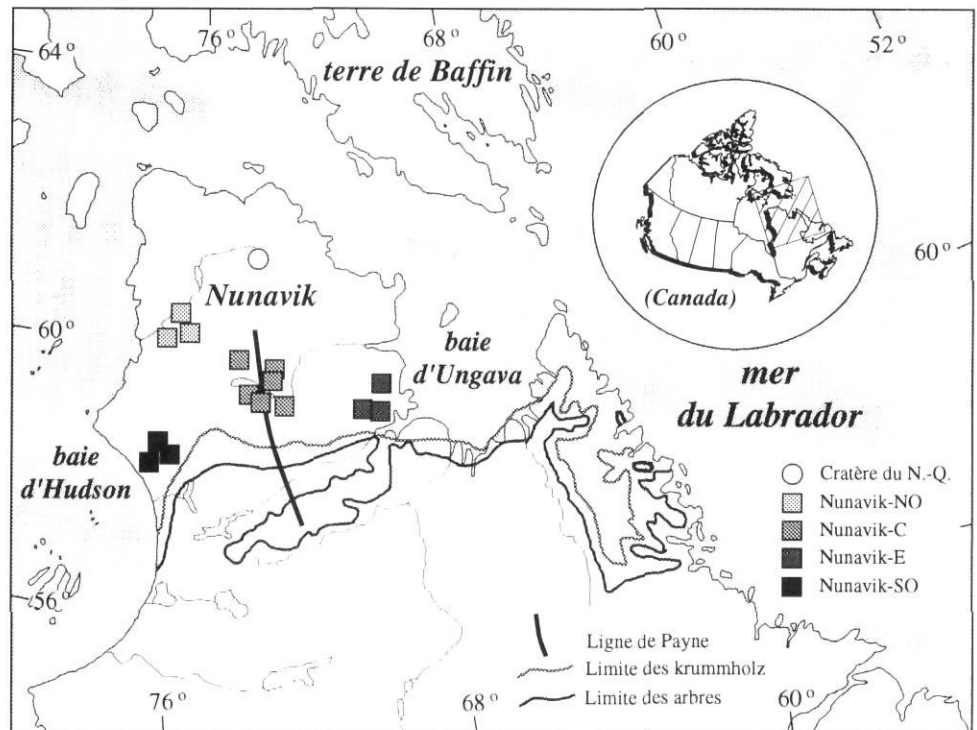
LES COMPOSANTES PRINCIPALES

Afin d'étudier plus à fond la relation entre la représentation pollinique des tills et la phytogéographie actuelle, nous avons fondé la comparaison sur l'analyse en composantes principales.

L'analyse des composantes principales (ACP) est une technique d'ordination multidimensionnelle permettant une comparaison plus poussée des assemblages polliniques fossiles et contemporains (Ritchie, 1977 ; Birks, 1976, 1980 ; Overpeck *et al.*, 1985). Puisqu'elle permet l'interpolation d'échantillons (Birks et Gordon, 1985), nous avons inséré les échantillons de till (pollen fossile ; hérité) de la région du cratère du Nouveau-Québec et de la péninsule du Nunavik à l'intérieur d'un espace réduit (bidimensionnel) défini par les deux premières composantes principales de 24 échantillons de boues lacustres récentes (pollen contemporain) du Nunavik (Richard, 1981) afin de comparer les représentations polliniques de chacun. Pour le calcul des composantes principales des boues lacustres récentes, seuls les taxons dont le pourcentage excédait 3 % dans au moins un échantillon ont été retenus (Birks *et al.*, 1975 ; Birks et Berglund, 1979). De nouveaux pourcentages furent ensuite recalculés à l'aide de la nouvelle somme pollinique définie par ces taxons. Le calcul

FIGURE 2. Localisation de la région étudiée. Le cratère du Nouveau-Québec et les échantillons de till du Nunavik (Nunavik-N : nord-ouest, Nunavik-C : centre, Nunavik-E : est, Nunavik-SO : sud-ouest) y sont représentés. La ligne de partage glaciaire de Payne est celle de Bouchard et Marcotte (1986). La limite des arbres et des krummholz est celle de Payette (1983).

Location of the studied area. The Nouveau-Québec crater and the till samples from Nunavik (Nunavik-NO: north-west, Nunavik-C: centre, Nunavik-E: east, Nunavik-SO: south-west) are indicated. The Payne ice divide is illustrated according to Bouchard and Marcotte (1986). The tree-line and the krummholz limit are illustrated according to Payette (1983).



des composantes principales fut effectué à l'aide du Proiciel R conçu par Alain Vaudor, assisté de Pierre Legendre, du Département de biologie de l'Université de Montréal. La matrice de départ employée était une matrice variance-covariance (Legendre et Legendre, 1979). Les pourcentages élevés de variance, exprimés par les deux premières composantes principales des boues lacustres récentes, permettent une insertion des échantillons de till dans l'espace graphique réduit (Gower, 1968 ; Oxnard, 1972 ; Birks, 1976 ; Birks et Gordon, 1985).

Si le pollen du till est postglaciaire ou contemporain, les échantillons de till sont susceptibles d'afficher une représentation pollinique semblable à celle de coussinets de mous-ses (voir Bartley, 1967 ; Richard, 1981), incluant une représentation pollinique en pourcentages très variable, même pour des sites très rapprochés ; l'apport de pollen local contribue à la grande variabilité des échantillons. En ce sens, le till pourrait montrer une sur-représentation pollinique de taxons locaux.

Si le pollen du till est préglaciaire, nonobstant la variabilité théorique, il se pourrait que, régionalement, le contenu pollinique du till soit davantage homogène (voir Heinonen, 1957).

LE TILL POLLINIFÈRE DE LA PÉNINSULE DU NUNAVIK

LES CONCENTRATIONS POLLINIQUES

Les échantillons de till prélevés dans la région centrale de la péninsule, près de l'axe de partage glaciaire de Payne, montrent d'une façon générale des concentrations polliniques plus élevées que les échantillons prélevés en périphérie, loin de l'axe (tabl. IIa). Au centre, le till a une concentration polli-

nique moyenne de ~31 000 grains/g, à l'extrême est, de ~8500 grains/g et à l'extrême ouest, de ~6800 grains/g. La concentration pollinique du till avoisinant le cratère du Nouveau-Québec, bien que très variable d'un échantillon à l'autre, est comparable à celle du till du centre du Nunavik (tabl. IIb).

TABLEAU II

Concentration pollinique du till de la péninsule du Nunavik et de la région du cratère du Nouveau-Québec

a)				
Nunavik-NO	Nunavik-C	Nunavik-E	Nunavik-SO	
4838 *(o)	24 870 (o)	1168 (t)	1786 (t)	
20 367 (o)	9185 (t)	14 273 (t)	13 550 (o)	
11 481 (o)	68 810 (t)	10 172 (t)	5097 (o)	
	49 657 (t)			
	2550 (t)			
moy : 12 229	moy : 31 014	moy : 8538	moy : 6811	
b)				
Cratère du Nouveau-Québec (CNQ)				
780 (o)	1694 (o)	6241 (o)	6585 (o)	
12 180 (o)	12 851 (o)	13 997 (o)	16 706 (o)	
17 898 (o)	18 481 (o)	20 651 (o)	21 092 (o)	
28 187 (o)	44 467 (o)	62 755 (o)	81 027 (o)	
135 683 (o)				
moy : 29 487 (modifiée de Richard <i>et al.</i> , 1991)				

* Matériel échantillonné ; (o) : ostiole sur till, (t) : till non perturbé par la cryoturbation. Les concentrations polliniques sont exprimées en grains/g. Nunavik-NO : nord-ouest, C : centre, E : est, SO : sud-ouest.

LA COMPARAISON DES ASSEMBLAGES POLLINIQUES FOSSILES ET CONTEMPORAINS

À l'examen du diagramme, les spectres polliniques du till du Nunavik (Nunavik-NO, C, E, SO), quoiqu'ils apparaissent différents de la biogéographie contemporaine, semblent s'approcher d'une représentation de toundra arbustive, alors que ceux près du cratère (CNQ) semblent plutôt témoigner d'un milieu de toundra herbacée (fig. 3).

Les taxons suivants : *Picea*, *Pinus*, *Betula*, *Salix*, *Alnus*, *Ericaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Artemisia*, type *Ambrosia*, sont à la base de l'ACP des 24 échantillons de boues lacustres récentes du Nunavik (Richard, 1981). La première composante rend compte de 56,1 % de la variance des données et la seconde de 30,6 % (tabl. III). À elles deux, elles offrent une bonne représentation (86,7 %) en espace bidimensionnel (composantes I et II) de la dispersion existant entre les spectres. L'ordination des boues lacustres récentes selon les deux premières composantes met en évidence les trois domaines de la végétation du nord québécois, soit la toundra forestière, la toundra arbustive et la toundra herbacée (fig. 4). Le site identifié « bassin isolé » (fig. 4), bien qu'il fasse partie de la toundra herbacée du nord-est de la péninsule, est ordonné (par l'ACP) près des sites de la toundra forestière parce que, ce lac sans affluent ni effluent, occupant un col au bassin-versant négligeable, capte surtout le pollen extra-régional, notamment celui de la toundra forestière située à 350 km plus au sud (Richard, 1981).

Afin de vérifier l'existence d'un lien entre les assemblages polliniques du till et ceux de la végétation actuelle, nous avons inséré les échantillons de till de la région du cratère du Nouveau-Québec et du Nunavik à l'intérieur de l'espace graphique défini par les deux premières composantes des boues lacustres récentes de la péninsule du Nunavik (fig. 4). Le

pourcentage élevé de variance des composantes I et II (86,7 %) justifiait cette démarche (Gower, 1968 ; Oxnard, 1972 ; Birks, 1976 ; Birks et Gordon, 1985). Néanmoins, on doit tenir compte que les sédiments comparés par interpolation proviennent de milieux de dépôt différents et sont d'âge différent, de même que la représentation pollinique passée des formations végétales (toundra arbustive, toundra herbacée, etc.) a pu être différente de celle que l'on connaît aujourd'hui (Birks, 1976 ; Ritchie, 1977).

TABLEAU III

ACP des spectres récents des lacs de l'est de la péninsule du Nunavik ; saturations, λ et % de variance des composantes I et II

Taxon	Composante I	Composante II
<i>Picea</i>	0,406	0,656
<i>Pinus</i>	0,010	0,035
<i>Betula</i>	0,374	-0,752
<i>Salix</i>	-0,073	-0,009
<i>Alnus</i>	0,259	0,040
<i>Ericaceae</i>	-0,057	0,032
<i>Cyperaceae</i>	-0,778	0,006
<i>Poaceae</i>	-0,116	-0,010
<i>Artemisia</i>	-0,027	0,012
type <i>Ambrosia</i>	0,000	0,000
Valeur propre (λ)	309,826	169,112
% de variance	56,1	30,6

La composante I a comme saturations (+) significatives *Picea*, *Betula*, *Alnus* et comme saturation (-) significative *Cyperaceae*. La composante II a comme saturation (+) significative *Picea* et comme saturation (-) significative *Betula*.

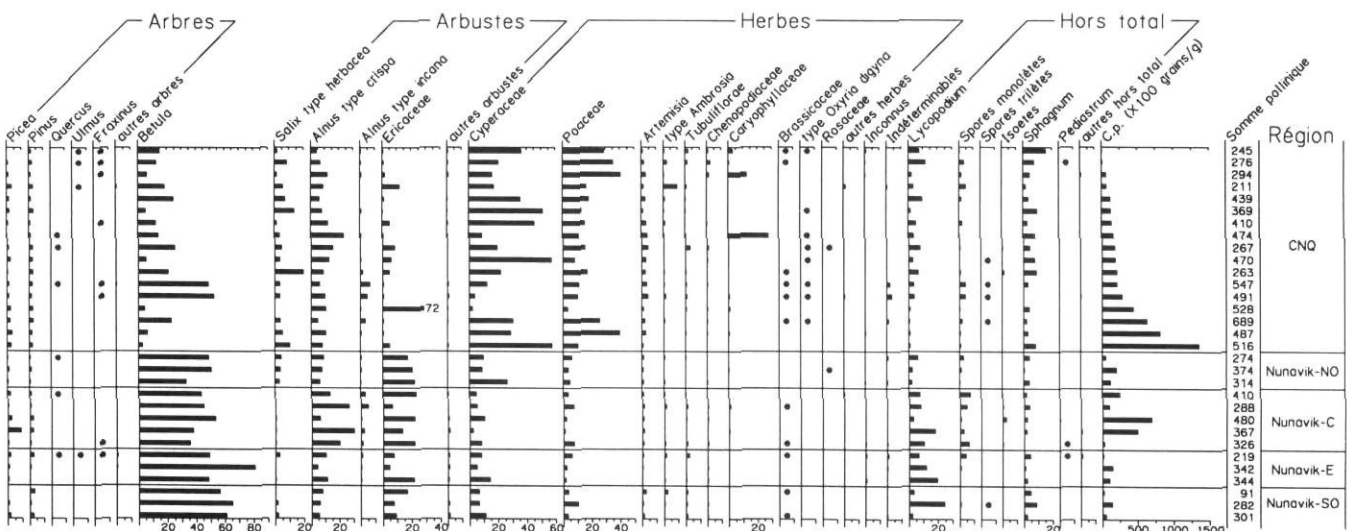
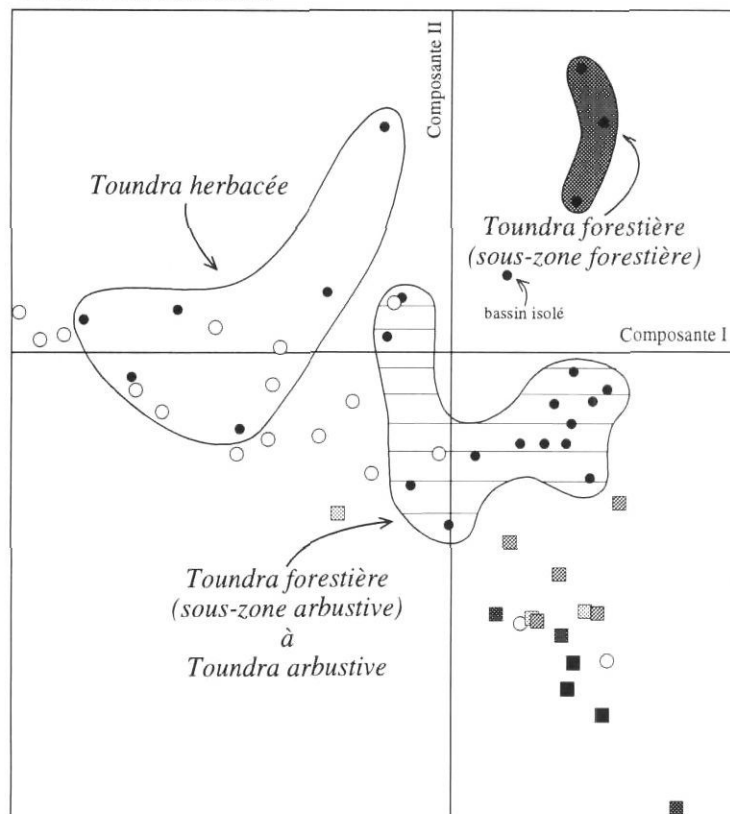


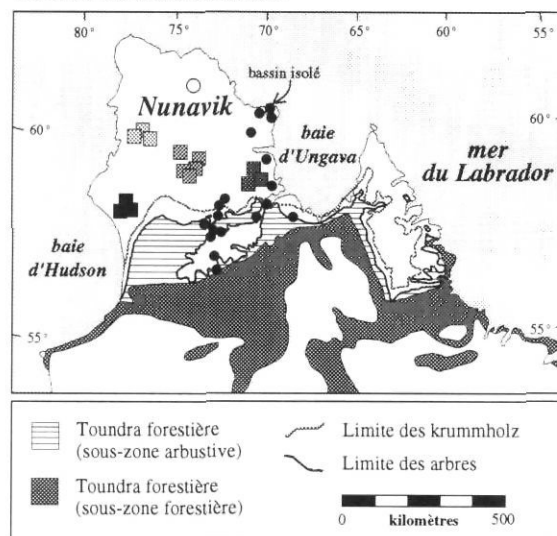
FIGURE 3. Diagramme sporopollinique des échantillons de till de la région du cratère du Nouveau-Québec et du Nunavik exprimé en pourcentages. Les traits horizontaux délimitent les différentes régions. CNQ : cratère du Nouveau-Québec ; Nunavik-C : centre ; Nunavik-E : est ; Nunavik-NO : nord-ouest et Nunavik-SO : sud-ouest. Les points indiquent une présence. Analystes : N. Morasse et B. Fréchette.

Pollen and spore diagram (expressed in percentages) of till samples from the Nouveau-Québec crater area and from Nunavik. The horizontal lines delimit the different areas. CNQ: Nouveau-Québec crater; Nunavik-C: centre; Nunavik-E: east; Nunavik-NO: north-west and Nunavik-SO: south-west. A dot marks an occurrence. Analysts: N. Morasse and B. Fréchette.

Ordination des échantillons



Localisation des échantillons



Légende des échantillons

- Boues lacustres de surface (Nunavik)
- Échantillons de till (cratère du N.-Q.)
- ▨ Échantillons de till (Nunavik-NO)
- ▩ Échantillons de till (Nunavik-C)
- Échantillons de till (Nunavik-E)
- Échantillons de till (Nunavik-SO)

FIGURE 4. Interpolation des échantillons de till de la région du cratère du Nouveau-Québec et du Nunavik à l'intérieur de l'espace bidimensionnel (composantes I et II) défini par les spectres polliniques récents des boues lacustres du Nunavik (Richard, 1981). La limite des arbres et des krummholz (carte de localisation des échantillons) est de Payette (1983). Sur la carte, certains points désignant la localisation des boues lacustres récentes représentent plus d'un échantillon.

Interpolation of the till samples from the Nouveau-Québec crater area and from Nunavik on a bidimensional space defined by the actual pollen spectra of the lacustrine surface sediment from Nunavik (Richard, 1981). The tree-line and the krummholz limit (location map of the samples) are illustrated according to Payette (1983). On the location map, some points indicate more than one sample of the lacustrine surface sediment.

Nonobstant ces limites, les résultats de l'interpolation montrent que les échantillons de till à proximité du cratère sont comparables aux spectres polliniques récents de la toundra herbacée et arbustive du sud de la péninsule alors que ceux du Nunavik, bien que s'approchant de la représentation de la toundra arbustive, sont sans analogues contemporains (fig. 4).

Les échantillons de till du centre du Nunavik s'approchent des sites représentatifs de la toundra forestière en sous-zone arbustive (fig. 4). Ces tills se situent au nord de la limite actuelle des arbres et bien au nord des boues lacustres qui leur seraient équivalentes ou associées. En raison de leurs fortes concentrations polliniques (tabl. IIa), la possibilité d'une sur-représentation de taxons lointains, notamment du pollen arboréen, est en partie exclue. Si une fraction du pollen présent dans le till du centre de la péninsule est pré-holocène, il semble donc plausible que la limite des arbres ait été située plus au nord, lors d'un épisode interstadiaire ou interglaciaire antérieur, qu'elle ne l'est aujourd'hui. Au cours de ces stades, le climat aurait ainsi été plus clément que l'actuel, permettant l'établissement d'une végétation plus dense et un dépla-

cement vers le nord des zones bioclimatiques contemporaines (voir Miller *et al.*, 1977 ; de Vernal *et al.*, 1991).

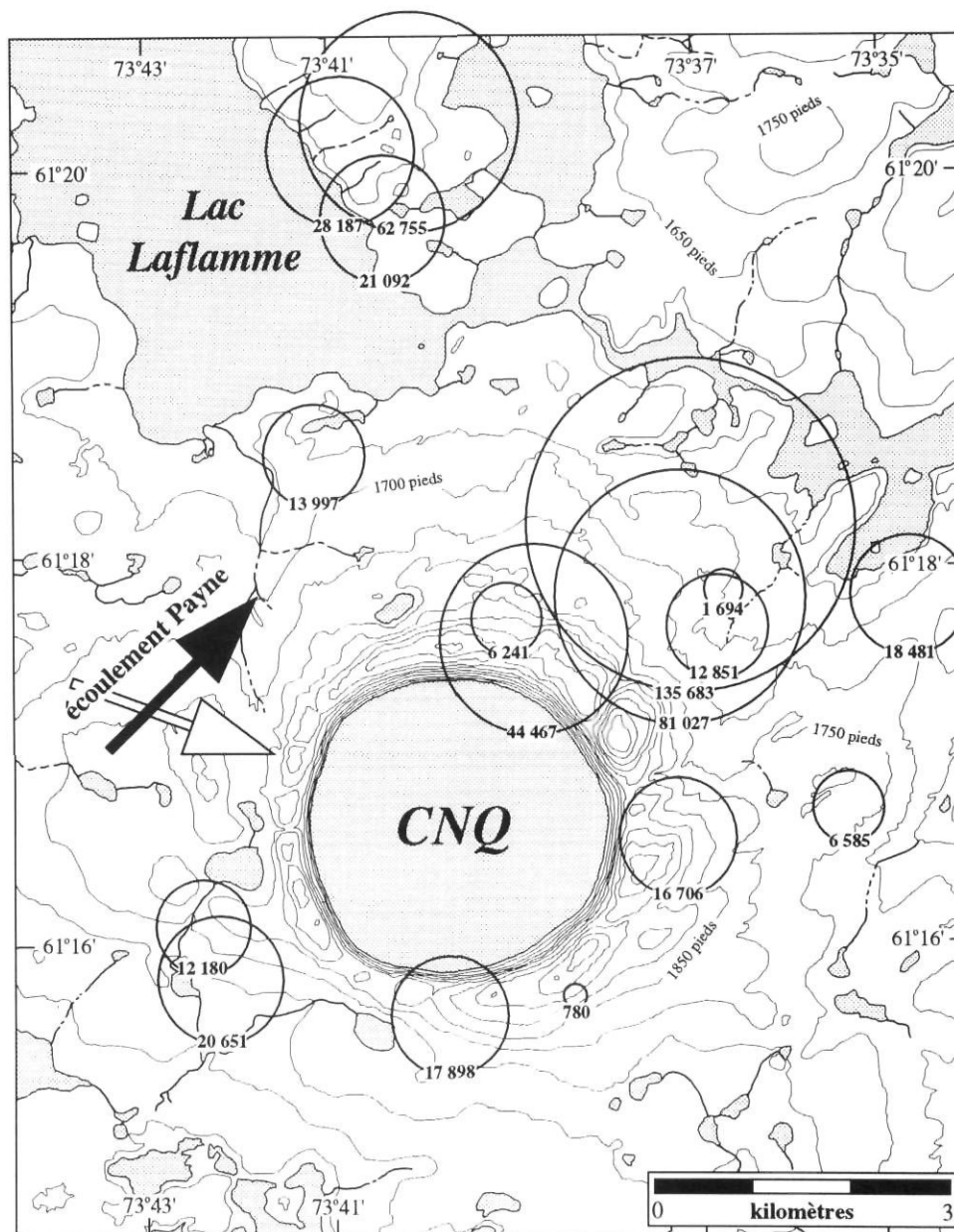
LE RECYCLAGE

Le matériel constituant le till ne provient pas uniquement de l'érosion glaciaire du socle rocheux frais, mais également de l'incorporation de sédiments plus anciens de différents types, incluant du till (Gillberg, 1977). La resédimentation de tills antérieurs, incorporés dans la glace et mélangés à d'autres types de sédiments, accompagnée d'une réorganisation et d'une homogénéisation, a été observée ailleurs (Gillberg, 1977 ; Dreimanis, 1988).

Dans le contexte d'une zone centrale de glaciation où l'érosion est faible, le mouvement glaciaire limité et la dispersion restreinte, le recyclage et l'incorporation de sédiments préexistants sont probablement favorisés. Le cratère du Nouveau-Québec se situe à environ 120 km de la ligne de partage glaciaire de Payne (Bouchard et Marcotte, 1986) du Nunavik. Comme le till au nord-est du cratère, en amont de la dispersion glaciaire principale produite par l'écoulement Payne, montre les concentrations polliniques les plus élevées (fig. 5)

FIGURE 5. Répartition de la concentration pollinique du till de la région du cratère du Nouveau-Québec. La surface des cercles est proportionnelle à la concentration pollinique. Les flèches indiquent les écoulements glaciaires généralisés. L'écoulement glaciaire majeur (écoulement Payne ; Bouchard et Marcotte, 1986) est représenté par la flèche noire. Les échantillons dans la partie nord, près du lac Laflamme, ont pu connaître des actions littorales ou fluviodeltaïques (Currie, 1966 ; Bouchard *et al.*, 1989).

*Distribution of the pollen concentration in the till from the Nouveau-Québec crater area. The size of the circles is proportional to the pollen concentration. The arrows show the generalised ice flows. The major ice flow (Payne flow; Bouchard et Marcotte, 1986) is indicated by the black arrow. Northern samples, near Lac Laflamme, may have known some littoral or fluviodeltaic events (Currie, 1966; Bouchard *et al.*, 1989).*



et des assemblages polliniques semblables (tabl. IV), il se peut que le contenu en pollen hérité du till soit le résultat d'un remaniement de sédiments, en partie de sédiments préglaciaires logés dans l'enceinte du cratère (voir Bouchard, 1989b : 157). Puisque le till ne renferme pas de vestiges reconnaissables de sédiments lacustres (par ex. 0,4 % de *Pediastrum* dans un échantillon, aucune diatomée ; Grönlund *et al.*, 1989), nous croyons plutôt qu'il a réincorporé des sédiments terrestres, y compris des mousses, présents sur les pentes dans l'enceinte du cratère, avant le dernier mouvement glaciaire.

Des particules organiques ont pu être également recyclées au même titre que les grains de pollen du till. En effet, il existe un lien entre les valeurs de concentration pollinique et de perte au feu des échantillons de till (ostioles) des alentours du cratère (fig. 6a). On pourrait expliquer cette tendance parallèle

par une préservation des particules organiques du sédiment, au même titre que celle des grains de pollen, lors de la dernière glaciation ou encore par un recouvrement de la couverture végétale riche en pollen par la boue éjectée en surface d'ostioles (Shilts, 1978). Toutefois, il est peu probable que l'activité des ostioles ait favorisé l'incorporation et la conservation des grains de pollen et des particules organiques du sédiment nouvellement ensevelis (Fréchette, 1994 ; Fréchette *et al.*, 1995). Par contre, il est possible qu'elle ait contribué à leur conservation, particulièrement pour les ostioles contenant peu de silt et d'argile (ostioles peu actives) (fig. 6b) (Shilts, 1978).

Le till de la région semble donc être partiellement le produit du recyclage d'une surface préglaciaire constituée de till, de mousses ou de tout autre matériel ayant pu capter et conserver du pollen et des spores. Ce matériel aurait pu être

TABLEAU IV

Pourcentages polliniques sommaires (pollen arboréen, arbustif, herbacé) des échantillons de till au nord-est du cratère

Pollen arboréen	Pollen arbustif	Pollen herbacé	C.P.* (grains/g)
4,0	29,7	65,9	1694
4,9	28,5	66,7	12 851
4,3	27,2	68,5	18 481
5,1	22,8	71,9	81 027
5,0	26,3	68,6	135 683

*C.P. : concentration pollinique. Pour tous ces échantillons, le pollen arboréen est majoritairement représenté par *Picea* et *Pinus*, le pollen arbustif par *Betula*, *Alnus*, *Salix* type *herbacea* et les éricacées et le pollen herbacé par les cypéracées et les poacées. Noter que les pourcentages demeurent uniformes quelle que soit la concentration pollinique.

érodé et entraîné par le glacier puis redéposé parmi les particules minérales fraîches pour donner le till que l'on observe aujourd'hui. En outre, la teneur en phyllosilicates dégradés du till de la région du cratère semble également témoigner d'un recyclage de minéraux préalablement altérés (Bouchard *et al.*, 1995).

CONCLUSION

Cette étude de la répartition régionale du contenu pollinique du till du Nunavik montre que : 1) l'existence de till pollinifère est un phénomène commun sur la péninsule du Nunavik ; 2) il existe une relation entre la concentration pollinique et la géométrie du dernier appareil glaciaire ; 3) il n'existe pas de lien étroit entre la représentation pollinique de la végétation actuelle et l'enregistrement pollinique des tills du Nunavik.

Ces observations laissent supposer que la richesse pollinique du till de la péninsule du Nunavik s'expliquerait par l'histoire glaciaire de la région. La faible érosion glaciaire ayant prévalu lors de la dernière glaciation et sans doute lors des glaciations précédentes au Nunavik, a pu faire en sorte que les grains accumulés, lors des interstadias et interglaciaires précédents, soient préservés. Le matériel sporopollinique présent dans le till régional résulterait, en partie, d'une remobilisation de sédiments antérieurs (till, mousses, etc.) (Richard *et al.*, 1991 ; Fréchette, 1994 ; Fréchette *et al.*, 1994, 1995). Le till de la région, de plus en plus jeune à chaque nouvelle glaciation, incorporerait de façon cumulative des éléments plus anciens.

La présence de till pollinifère, incluant en partie du pollen hérité, peut compliquer l'interprétation des assemblages polliniques des sédiments lacustres initiaux de même qu'elle peut poser problème pour la datation des sédiments (voir Short, 1981 ; Stravers, 1981). Par ailleurs, l'analyse pollinique des tills pourrait se révéler un outil puissant sous l'angle stratigraphique.

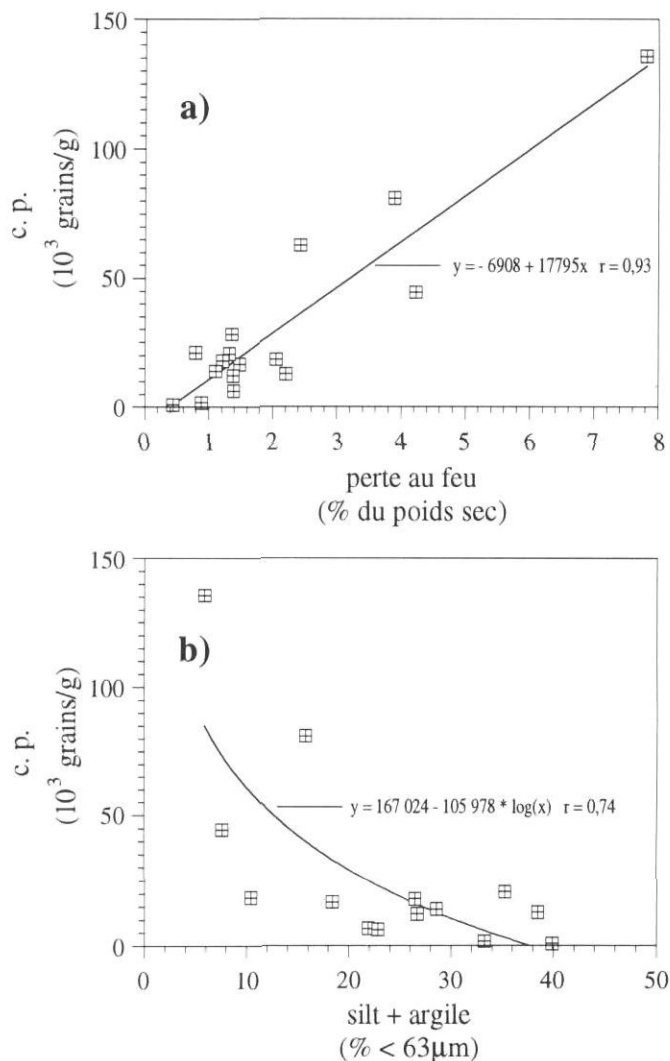


FIGURE 6. a) Variation de la concentration pollinique en fonction du pourcentage des pertes au feu pour les échantillons de till (ostioles) de la région du cratère du Nouveau-Québec (N=16). b) Variation de la concentration pollinique en fonction du pourcentage de silt + argile pour les échantillons de till (ostioles) de la région du cratère du Nouveau-Québec (N=14).

a) Variation of the pollen concentration according to the percentage of loss on ignition for the till samples (mudboils) close to the Nouveau-Québec crater (N=16). b) Variation of the pollen concentration according to the percentage of silt + clay for the till samples (mudboils) close to the Nouveau-Québec crater (N=14).

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Nicole Morasse pour sa contribution à l'analyse et Alayn C. Larouche pour sa contribution à la confection du diagramme pollinique. Ces travaux ont été appuyés par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), par l'entremise de subventions accordées à M.A.B. et à P.J.H.R., ainsi que par le ministère des Affaires indiennes et du Nord du Canada, par le biais de son Programme de formation scientifique dans le Nord. Les judicieux commentaires de deux lecteurs anonymes et de M. Michel Allard ont été appréciés.

RÉFÉRENCES

- Andersen, S.Th., 1965. Pollen analysis and till stratigraphy at Lindø, Denmark. Geological Survey of America, Special Paper, 84 : 65-78.
- Ball, D.F., 1964. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *Journal of Soil Sciences*, 15 : 84-92.
- Bartley, D.D., 1967. Pollen analysis of surface samples of vegetation from arctic Quebec. *Pollen et Spores*, 9 : 101-105.
- Birks, H.J.B., 1976. Late-Wisconsinan vegetational history at Wolf Creek, Central Minnesota. *Ecological Monographs*, 46 : 395-429.
- 1980. Modern pollen assemblages and vegetational history of the moraines of the Klutan glacier and its surroundings, Yukon Territory, Canada. *Quaternary Research*, 14 : 101-129.
- Birks, H.J.B. et Berglund, B.E., 1979. Holocene pollen stratigraphy of southern Sweden : A reappraisal using numerical methods. *Boreas*, 8 : 257-279.
- Birks, H.J.B. et Gordon, A.D., 1985. *Numerical Methods in Quaternary Pollen Analysis*. Academic Press, Londres, 317 p.
- Birks, H.J.B., Webb III, T. et Berti, A.A., 1975. Numerical analysis of surface pollen samples from central Canada : A comparison of methods. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 20 : 133-169.
- Bouchard, M.A., 1989a. Subglacial landforms and deposits in central and northern Québec, Canada, with emphasis on Rogen moraines. *Sedimentary Geology*, 62 : 293-308.
- 1989b. Englaciation et glaciation du Cratère du Nouveau-Québec, un modèle théorique. p. 139-163, *In* M.A. Bouchard, éd., *L'histoire naturelle du Cratère du Nouveau-Québec*. Collection Environnement et Géologie 7, Université de Montréal, 420 p.
- Bouchard, M.A. et Marcotte, C., 1986. Regional glacial dispersal patterns in Ungava, Nouveau-Québec. Geological Survey of Canada, Paper, 86-1B : 295-304.
- Bouchard, M.A. et Salonen, V.-L., 1990. Boulder transport in shield areas, p. 87-107. *In* R. Kujansuu et M. Saarnisto, éd., *Glacial Indicator Tracing*. Balkema, Rotterdam, 250 p.
- Bouchard, M.A., Rumley, G. et Fréchette, B., 1995. Pollen content and clay mineralogy of glacial till from northern Québec and implications for the dynamics of the Laurentide Ice Sheet, p. 32. *In* Congress Program and Abstract, The 1st SEPM Congress on Sedimentary Geology, August 13-16 1995, St. Pete, Florida.
- Bourgeois, J.C., 1986. A pollen record from the Agassiz Ice Cap, northern Ellesmere Island, Canada. *Boreas*, 15 : 345-354.
- Brown, R.J.E., 1978. Permafrost plate 32. *In* Hydrological Atlas of Canada. Fisheries and Environment Canada, Ottawa, 34 p.
- Cushing, E.J., 1964. Redeposited pollen spectra from east central Minnesota. *American Journal of Earth Sciences*, 262 : 1075-1088.
- Davies, B.E., 1974. Loss on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Science Society of America Proceedings*, 38 : 150-151.
- Dean, W.E.Jr., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition : Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44 : 242-248.
- de Vernal, A., Miller, G.H. et Hillaire-Marcel, C., 1991. Paleoenvironments of the last interglacial in northwest north Atlantic region and adjacent mainland Canada. *Quaternary International*, 10-12 : 95-106.
- Dreimanis, A., 1988. Tills : Their genetic terminology and classification, p. 17-83. *In* R.P. Goldthwait et C.L. Matsch, éd., *Genetic Classification of Glacigenic Deposits*. Balkema, Rotterdam, 294 p.
- Dreimanis, A., Liivrand, E. et Raukas, A., 1989. Glacially redeposited pollen in tills of southern Ontario, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26 : 1667-1676.
- Dyke, A.S. et Prest, V.K., 1987. Late Wisconsinian and Holocene history of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, 41 : 237-263.
- Fægri, K. et Iversen, J., 1975. *Textbook of Pollen Analysis*. 3^e éd., Blackwell Scientific Publications, Oxford, 295 p.
- Florin, M.B., 1975. Microfossil content of two soil profiles from western Kolmanden, Southern central Sweden. *Geologia Föreningens Stockholms Föreläsningar*, 97 : 135-141.
- Fréchette, B., 1994. Le till pollinifère de la région du cratère du Nouveau-Québec, Ungava, Québec. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 209 p.
- Fréchette, B., Bouchard, M.A., Richard, P.J.H. et Gangloff, P., 1994. The pollen-bearing till of the New-Quebec crater area : Search for an explanation, p. A38. *In* Programme et Résumés, Réunion annuelle, Association géologique du Canada - Association minéralogique du Canada (GAC-MAC), vol. 19, mai 1994, Waterloo, Ontario.
- Fréchette, B., Bouchard, M.A. et Richard, P.J.H., 1995. Polliniferous till in Ungava, Québec, Canada : A window on pre-Wisconsinan palimpsestic surfaces, p. 34. *In* Résumé des communications, XIV^e Congrès de l'Union internationale de recherche sur le Quaternaire (INQUA), août 1995, Berlin.
- Gillberg, G., 1977. Redeposition : A process in till formation. *Geologia Föreningens Stockholms Föreläsningar*, 99 : 246-253.
- Gower, J.C., 1968. Adding a point vector diagrams in multivariate analysis. *Biometrika*, 55 : 282-285.
- Gray, J.T. et Lauriol, B., 1985. Dynamics of the late-Wisconsin ice sheet in the Ungava peninsula interpreted from geomorphological evidence. *Arctic and Alpine Research*, 17 : 289-310.
- Grönlund, T., Lortie, G., Guilbault, J.-P., Bouchard, M.A. et Saarnisto, M., 1989. Diatoms and arcellaceans (thecamoebians) from the Lac du Cratère du Nouveau-Québec, Ungava, Québec, Canada, p. 277-313. *In* M.A. Bouchard, éd., *L'histoire naturelle du Cratère du Nouveau-Québec*. Collection Environnement et Géologie, 7, Université de Montréal, 420 p.
- Heinonen, L., 1957. Studies on the microfossils in the tills of the North European glaciation. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A3, Geologica-Geographica*, 52 : 1-92.
- Hyypä, E., 1936. Über die späquartäre entwicklung nord-finlands mit ergänzungen zur kenntnis des spätglazialen klimas. *Comptes rendus de la Société géologique de Finlande*, 9 : 401-465.
- Iversen, J., 1936. Sekundäres Pollen als Fehlerquelle - Eine Korrektionsmethode zur Pollenanalyse minerogener Sedimente. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, 4-2 (15), 24 p.
- Jackson, S.T. et Miller, N.G., 1983. Paleoecology of a fossil plant assemblage from a pre-Wisconsinan till in Southern Illinois. *The American Midland Naturalist*, 109 : 120-135.
- Jacobson, G.L., Jr. et Birks, H.J.B., 1980. Soil development on recent end moraines of the Klutan glacier, Yukon Territory, Canada. *Quaternary Research*, 14 : 87-100.
- Lagérback, R. et Robertsson, A.-M., 1988. Kettels holes - Stratigraphical archives for Weichselian geology and palaeoenvironment in northernmost Sweden. *Boreas*, 17 : 439-468.
- Lagérback, R., 1988. The Veiki moraines in northern Sweden-widespread evidence of Early Weichselian deglaciation. *Boreas*, 17 : 469-486.
- Lauriol, B., 1982. Géomorphologie quaternaire du sud de l'Ungava. Collection Paléo-Québec 15, Université du Québec à Trois-Rivières, 174 p.
- Lauriol, B. et Gray, J.T., 1987. The decay and disappearance of the late-Wisconsin ice sheet in the Ungava peninsula, Northern Quebec, Canada. *Arctic and Alpine Research*, 19 : 109-126.
- Legendre, L. et Legendre, P., 1979. *Écologie numérique*, t. 1 Le traitement multiple des données écologiques, 197 p. ; t. 2 La structure des données écologiques, Masson, Paris, 247 p.
- Marsan, B., 1988. L'érosion du Cratère du Nouveau-Québec. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 121 p.
- McAndrews, J.H., 1984. Pollen analysis of the 1973 ice core from Devon Island glacier, Canada. *Quaternary Research*, 22 : 68-76.

- Miller, G.H., Andrews, J.T. et Short, S.K., 1977. The last interglacial-glacial cycle, Clyde foreland, Baffin Island, N.W.T. : Stratigraphy, biostratigraphy, and chronology. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14 : 2824-2857.
- Overpeck, J.T., Webb, T.III et Prentice, I.C., 1985. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra : Dissimilarity coefficients and method of modern analogs. *Quaternary Research*, 23 : 87-108.
- Oxnard, C.E., 1972. Some African fossil foot bones : A note on the interpolation of fossils into a matrix of extant species. *American Journal of Physical Anthropology*, 37 : 3-12.
- Payette, S., 1983. The forest tundra and the present tree-lines of the northern Quebec-Labrador peninsula. In P. Morisset et S. Payette, édit., *Tree-line Ecology*, Université Laval, Québec. Collection Nordicana 47 : 3-23.
- Rainio, H. et Lahermo, P., 1976. Observations on a dark gray basal till in Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, 48 : 137-152.
- Richard, P.J.H., 1981. Paléophytogéographie postglaciaire en Ungava, par l'analyse pollinique. Collection Paléo-Québec 13, Université du Québec à Trois-Rivières, 153 p.
- Richard, P.J.H., Larouche, A.C. et Bouchard, M.A., 1982. Âge de la déglaciation finale et histoire postglaciaire de la végétation dans la partie centrale du Nouveau-Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 37 : 63-90.
- Richard, P.J.H., Larouche, A.C. et Morasse, N., 1989. Études floristiques et paléophytogéographiques au Cratère du Nouveau-Québec, p. 316-342. In M.A. Bouchard, édit., *L'histoire naturelle du Cratère du Nouveau-Québec*. Collection Environnement et Géologie 7, Université de Montréal, 420 p.
- Richard, P.J.H., Bouchard, M.A. et Gangloff, P., 1991. The significance of pollen-rich inorganic lake sediments in the Cratère du Nouveau-Québec area, Ungava, Canada. *Boreas*, 20 : 135-149.
- Ritchie, J.C., 1977. The Modern and Late Quaternary vegetation of the Campbell-Dolomite uplands, near Inuvik, N.W.T. Canada. *Ecological Monographs*, 47 : 401-423.
- Saarnisto, M. et Uusinko, R., 1975. Note on a clay deposit at Pienempi Kuivajärvi, Finnish Lapland. *Bulletin of the Geological Society of Finland (Suomen Geologinen Seura)*, 48 : 25-31.
- Sayles, R.W. et Knox, A.S., 1943. Fossiliferous tills and intertill beds of Cape Cod, Mass. *Geological Society of America Bulletin*, 54 : 1569-1612.
- Shilts, W.W., 1978. Nature and genesis of mudboils, central Keewatin, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15 : 1053-1068.
- Short, S.K., 1981. Radiocarbon list I. Labrador and Northern Quebec, Canada. University of Colorado, Institute of Arctic and Alpine Research, Occasional Paper 36, 33 p.
- Stravers, L.K.S., 1981. Palynology and deglaciation history of the Central Labrador-Ungava. M.Sc thesis, University of Colorado, Institute of Arctic and Alpine Research, Department of Geological Sciences, 171 p.
- Vorren, T.O., Corner, G.D. et Nagy, J., 1981. Weichselian sediments containing redeposited interstadial/interglacial fossils at Slettaelva, North Norway. *Boreas*, 10 : 477-484.
- Young, S.B., 1971. The vascular flora of St. Lawrence Island with special reference to floristic zonation in the arctic region. *Contribution of the Herbarium of Harvard University*, 201 : 11-115.